

## Изследване интензитета на електрическото поле, създавано от въздушна електропроводна линия високо напрежение, върху земната повърхност

Ивайло Стоянов

### **Investigation of an Electric Field, Generated from High Voltage Overhead Line, On the Ground:**

*The paper justifies the necessity to electromagnetic compatibility (EMC) must be properly selected to ensure the safety of life and ground. The behavior of the high voltage (HV) systems with respect to EMC considerations must be taken into account. The analyses show that the electric field is an independent variable from the distance from the overhead line to earth. A safety zone by the line where the electric field is higher than  $1 \text{ kV.m}^{-1}$  is determined.*

**Key words:** *Electromagnetic Capability, Electric Field on the Ground, HV Overhead Line, Electro Safety.*

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

За да се осигури електробезопасност на хората и за да се запазят материалните ценности е необходимо при проектирането на въздушни електропроводни линии високо напрежение да се отчита влиянието, което оказват върху тях [3]. Едновременно с това трябва да се отчитат и редица други фактори, свързани с биологическото и физиологическото въздействие [7]. Основен показател, определящ степента на влияние върху живите организми, се явява интензитета на електрическото поле върху земната повърхност [1]. За да се намали неговото влияние е необходимо правилно да се избере схемата на заземяване на електрическата уредба. При това е необходимо да се отчита поведението на различни устройства в електрическата уредба по отношение на осигуряване на електромагнитна съвместимост. Решаването на посочения проблем може да се извърши чрез математическо моделиране и оценка на описаното явление.

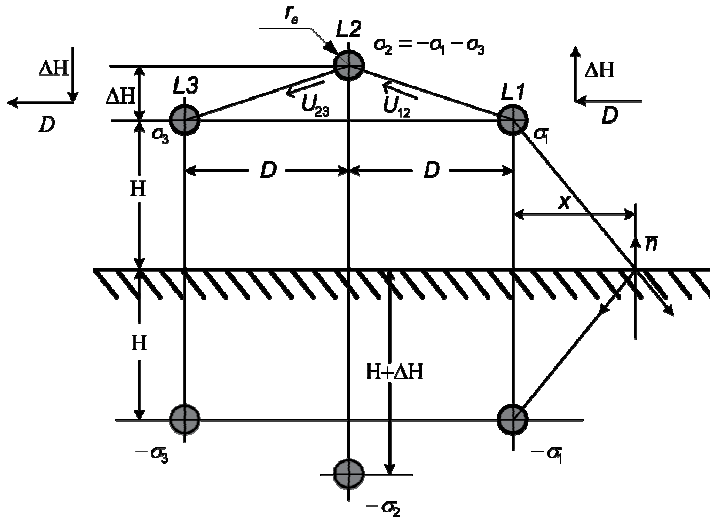
Целта на настоящата работа е да се изследва разпределението на интензитета на електрическото поле, създавано от въздушна електропроводна линия високо напрежение, върху земната повърхност.

### **ИЗЛОЖЕНИЕ**

Въздушната електропроводна линия се приема и въвежда в експлоатация по ред, установен в съответните нормативни актове. Въздушната електропроводна линия трябва да има досие, което съдържа най-малко следното [6]: проект; чертеж на трасето; трифазна схема монтажни таблици; протокол за предавателно-приемателни изпитвания актове за скрити работи, кръстосвания и пресичания и др. При преминаване на ВЕ през урбанизирани, земеделски, горски, защитени и нарушени територии минималните хоризонтални разстояния до най-близки части на сгради, съоръжения и насаждения, при най-голямото отклонение на крайните проводници, съответстват на минималните размери на сервитутните зони, определени съгласно Наредба № 16 за сервитутите на енергийните обекти [5].

Една типова въздушна електропроводна линия е изградена от три фази, разположени на различна височина (провес) спрямо земната повърхност [2, 4]. На фиг. 1 е показана схема на трифазна въздушна електропроводна линия с еднакъв еквивалентен радиус  $r_e$ , разстояние между крайните фази  $2D$ , височина на геометричните центрове на крайните фази  $H$ . Височината на провеса на средната фаза е  $H + \Delta H$ . На фигурата са показани също и огледалните образи на централните на трите фази върху земната повърхност. Плътноста на зарядите на единична дължина във фазовите проводници са означени с  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$ , а с  $-\sigma_1$ ,  $-\sigma_2$  и  $-\sigma_3$  - техните еквиваленти в огледалния образ. За опростяване на изследването се

приема, че провесът на трите фази е един и същ и че сумата от зарядите в трите фази е равен на нула. Линейните напрежения  $U_{L12}$  и  $U_{L23}$  могат да се определят чрез интегриране на електрическото поле между еквивалентните центрове  $r_e$  съответно на L1-L2 и L2-L3.



Фиг. 1. Схема на трифазна въздушна електропроводна линия с еднакъв еквивалентен радиус  $r_e$

Вертикалната компонента на интензитета на полето върху земната повърхност на разстояние  $x$  между  $q_1$  и  $-q_1$  може да се определи по методиката, посочена в [7]

$$-E_n = \frac{\sigma_1}{\pi\epsilon_0} \frac{H}{H^2 + x^2} + \frac{\sigma_2}{\pi\epsilon_0} \frac{H + \Delta H}{(H + \Delta H)^2 + (D + x)^2} + \frac{\sigma_3}{\pi\epsilon_0} \frac{H}{H^2 + (2D + x)^2}, \quad (1)$$

където  $\epsilon_0$  е диелектричната константа,  $\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12}$  F.m<sup>-1</sup>;

$D$  - междуфазовото разстояние, m.

За определяне влиянието на електрическото поле трябва да се изразят неизвестните плътности на зарядите  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  чрез  $U_{L12}$  и  $U_{L23}$ .

След интегриране на (1) по направление от L1 към L2 за  $U_{L12}$  се получава

$$U_{L12}\pi\epsilon_0 = \sigma_1 \ln \frac{\sqrt{\Delta H^2 + D^2} \cdot 2\sqrt{H(H + \Delta H)}}{r_e \sqrt{(2H + \Delta H)^2 + D^2}} + \frac{1}{2} \sigma_3 \ln \frac{(\Delta H^2 + D^2) 2(H + \Delta H) \sqrt{H^2 + D^2}}{Dr_e [(2H + \Delta H)^2 + D^2]}. \quad (2)$$

Полага се  $F = \ln \frac{\sqrt{\Delta H^2 + D^2} \cdot 2\sqrt{H(H + \Delta H)}}{r_e \sqrt{(2H + \Delta H)^2 + D^2}}$  и  $G = \frac{1}{2} \ln \frac{(\Delta H^2 + D^2) 2(H + \Delta H) \sqrt{H^2 + D^2}}{Dr_e [(2H + \Delta H)^2 + D^2]}$ , то

(2) се записва във вида

$$U_{L12}\pi\epsilon_0 = \sigma_1 F + \sigma_3 G. \quad (3)$$

Намирането на неизвестните  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  се извършва чрез решаването на системата

$$\begin{cases} \sigma_1 F + \sigma_3 G = U_{L12}\pi\epsilon_0 \\ \sigma_1 G + \sigma_3 F = -U_{L23}\pi\epsilon_0 \end{cases}, \quad (4)$$

откъдето за  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  се получава съответно:

$$\sigma_1 = \pi \varepsilon_0 \frac{U_{L12}F + U_{L23}G}{F^2 - G^2}; \quad (5)$$

$$\sigma_2 = -\pi \varepsilon_0 \frac{U_{L23}F + U_{L12}G}{F^2 - G^2}. \quad (6)$$

Известно е, че напрежението има синусоидална форма, т.е.  $U_{L12} = \sqrt{2}U \sin \omega t$  и  $U_{L23} = \sqrt{2}U \sin\left(\omega t \pm \frac{2\pi}{3}\right)$ . След заместването им (1) се получава

$$-E_n = \sqrt{2}U \frac{DH}{(F^2 - G^2)\left[(H + \Delta H)^2 + (D + x)^2\right]} \sqrt{A_1^2(x) - A_1(x)B_1(x) + B_1^2(x)} \sin(\omega t + \varphi). \quad (7)$$

Следователно за  $E_n(x)$  се получава

$$-E_n(x) = U \frac{DH}{(F^2 - G^2)\left[(H + \Delta H)^2 + (D + x)^2\right]} \sqrt{A_1^2(x) - A_1(x)B_1(x) + B_1^2(x)}, \quad (8)$$

където  $A_1(x) = Fg_1(x) + Gg_2(x)$ ;

$$B_1(x) = Gg_1(x) + Fg_2(x);$$

$$g_1(x) = \frac{D + 2x + \frac{(H^2 + H\Delta H - x^2)\Delta H}{DH}}{H^2 + x^2};$$

$$g_2(x) = \frac{3D + 2x + \frac{[(2D + x)^2 - H^2 - H\Delta H]\Delta H}{DH}}{H^2 + (2D + x)^2}.$$

Очевидно е, че величините F и G не зависят нито от времето  $t$ , нито от разстоянието  $x$ .

При  $\Delta H = 0$  за  $g_1(x)$  и  $g_2(x)$  се получава

$$g_1(x)|_{\Delta H=0} = \frac{D + 2H}{H^2 + x^2}; \quad (9)$$

$$g_2(x)|_{\Delta H=0} = \frac{3D + 2H}{H^2 + (2D + x)^2}. \quad (10)$$

Анализът на (9) показва, че  $g_1(x) = 0$  при  $x = -\frac{D}{2}$ .

Определянето на нивото на интензитета на електрическото поле, под средната фаза ( $x = -D$ ) значително се опростява, т.е.

$$g_1(-D) = -g_2(-D) = -\frac{D + \frac{(D^2 - H^2 - H\Delta H)\Delta H}{DH}}{H^2 + D^2}. \quad (11)$$

Следователно за (8) се получава

$$E_n(-D) = \sqrt{3}U \frac{D^2H + \frac{(D^2 - H^2 - H\Delta H)\Delta H}{DH}}{(H + \Delta H)^2(H^2 + D^2)(F + G)}. \quad (12)$$

При  $\Delta H = 0$

$$E_n(-D)|_{\Delta H=0} = \sqrt{3}U \frac{D^2H}{H(D^2 + H^2)(F + G)}. \quad (13)$$

За другата характерна точка  $x = 0$  за  $E_n$  се получава

$$E_n(0) = U \frac{DH}{(F^2 - G^2)\left[(H + \Delta H)^2 + D^2\right]} \sqrt{A_1(0) - A_1(0)B_1(0) + B_1^2(0)}. \quad (14)$$

При  $\Delta H = 0$

$$E_n(0)|_{\Delta H=0} = U \frac{DH}{(F^2 - G^2)[H^2 + D^2]} \sqrt{A_1(0) - A_1(0)B_1(0) + B_1^2(0)}. \quad (15)$$

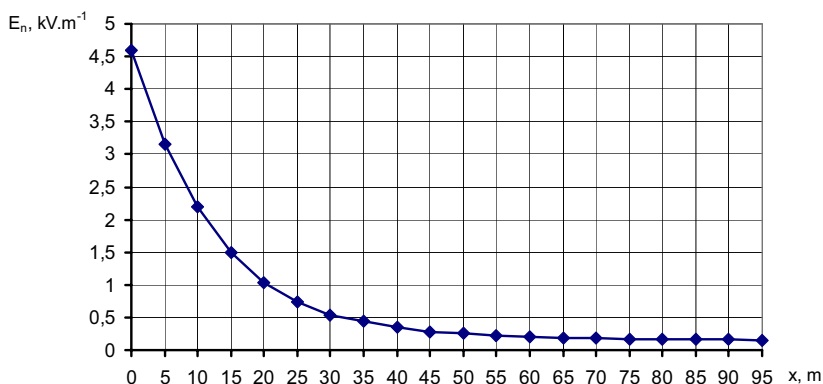
Регламентираните разстояния от най-ниския проводник на въздушната електропроводна линия при най-голям провес до повърхността на земята в урбанизирани територии е не по-малко от [6]:

- за въздушна електропроводна линия с напрежение до 1 kV - 6 m;
- за въздушна електропроводна линия с напрежение над 1 kV до 110 kV - 7 m;
- за въздушна електропроводна линия с напрежение 220 kV - 8 m.

Разстоянието от най-ниския проводник на въздушната електропроводна линия при най-голям провес до повърхността на земята в земеделски, горски, защитени и нарушени територии е не по-малко от:

- за въздушна електропроводна линия с напрежение до 110 kV - 6 m;
- за въздушна електропроводна линия с напрежение до 220 kV - 7 m.

На основата на (15) е построена зависимостта на  $E_n = f(x)$  (фиг. 2)



Фиг. 2. Разпределение на интензитета на електрическото поле за средната фаза върху земната повърхност при  $U = 220$  kV

Анализът на получената зависимост показва, че при минималните препоръчвани стойности за разстоянието от проводника до земята се получават значителни стойности на интензитета на електрическото поле върху земната повърхност.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализирано е влиянието на интензитета на електрическото поле, създавано от въздушна електропроводна линия за високо напрежение, върху земната повърхност. Установено е, че при минимално допустимите разстояния между фазовите проводници и земята върху земната повърхност се получава високо ниво на интензитета. Това може да окаже неблагоприятно влияние върху човека и може да доведе до смущаване на работата на високочувствително електрообзавеждане. Доказано е, че интензитетът намалява по логаритмичен закон с увеличаване на разстоянието като за разстояния  $\geq 21$  m той е по-малък от  $1 \text{ kV.m}^{-1}$ .

### ЛИТЕРАТУРА

[1] БДС IEC 61000-2-5:2001. Електромагнитна съвместимост (EMC). Част 2: Околна среда. Раздел 5: Класификация на електромагнитните обстановки. Основна публикация за EMC.

[2] Захариев, В. Експлоатация на въздушни електропроводни линии. Проектиране и строителство в енергетиката Том 10, ABC Техника, С., 2003, 91 стр.

[3] Михайлов, Н., И. Стоянов. Ръководство за електрически уредби. Шнайдер Електрик България, 2008, 467 стр.

[4] Наредба № 3 от 9 юни 2004 г. за устройството на електрическите уредби и електропроводните линии.

[5] НАРЕДБА № 16 от 9.06.2004 г. за сервитутите на енергийните обекти. Издадена от министъра на енергетиката и енергийните ресурси, министъра на земеделието и горите и министъра на регионалното развитие и благоустройството, обн., ДВ, бр. 88 от 8.10.20. <http://www.nek.bg/cgi-bin/index.cgi?d=1439>.

[6] Наредба № 16-116 от 8 февруари 2008 г. за техническа експлоатация на енергообзавеждането. В сила от 07.03.2008 г. Издадена от Министерството на икономиката и енергетиката Обн. ДВ. бр.26 от 7 Март 2008 г.

[7] Цицикян, Г.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. Учебное пособие, Северо-Западный Государственный Заочный Технический Университет, Изд-во СЗТУ, Санкт-Петербург, 2006, 59 стр.

**За контакти:**

Гл. ас. д-р инж. Ивайло Стефанов Стоянова, Катедра “Електроснабдяване и електрообзавеждане”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 843, e-mail: [stoyanov@ru.acad.bg](mailto:stoyanov@ru.acad.bg)

**Докладът е рецензиран.**